

緊急速報をカバレッジ外へ拡散させるための Proximity Services を統合した災害時同報配信システム

六平 豊^{1,a)} 中村 嘉隆^{2,b)} 稲村 浩^{2,c)}

受付日 2018年5月7日, 採録日 2018年11月7日

概要：日本の移動体通信事業者は、気象庁が警報する緊急地震速報や津波警報、地方公共団体が発信する災害・避難情報などを緊急速報として携帯移動端末（User Equipment：UE）に配信している。地震が多発する日本では速報性が求められているため、Earthquake and Tsunami Warning System（ETWS）に基づいた災害時同報配信システムが運用されている。しかし、大規模災害などが原因で一部の携帯電話基地局（evolved Node B：eNB）が機能停止している環境では、すべての端末へ緊急速報を配信することが困難である。そのような大規模災害の事例をふまえ、Long Term Evolution（LTE）技術を利用した公共安全（Public Safety：PS）LTE ネットワーク技術の研究が進められている。そこで、PS-LTE の技術として、コアネットワークを介さずに端末間（Device to Device：D2D）での直接通信を可能とする Proximity Services（ProSe）に着目する。本研究では、大規模震災の影響で津波警報や災害・避難情報の配信が困難であるような環境において、eNB から配信された緊急速報をカバレッジ外に拡散可能なマルチホップ D2D 通信システムの実現を目的とし、ETWS に ProSe を統合した災害時同報配信システムを提案する。このシステムを適用することで、震災によって eNB が機能停止した場合も、2 次災害を警告する緊急速報の配信が可能になる。D2D 技術は ETWS との親和性が高いと考えられるため、ProSe を用いて同報メッセージを拡散可能なマルチホップ D2D 通信システムを検討する。さらに、同報メッセージの拡散において、ETWS の配信エリアの構成と geocast を活用した拡散経路最適化方式も検討する。本提案システムについて、ネットワークシミュレータを用いて震災時の環境を再現し、災害・耐性ネットワーク・システムとしての有効性を示す。

キーワード：earthquake and tsunami warning system, proximity services, device to device, geocast

Emergency Warning System Integrating Proximity Services for Broadcasting Early Warnings to UEs Outside eNB Coverage

YUTAKA MUSAKA^{1,a)} YOSHITAKA NAKAMURA^{2,b)} HIROSHI INAMURA^{2,c)}

Received: May 7, 2018, Accepted: November 7, 2018

Abstract: Japanese mobile carriers are distributing early warning such as earthquake early warning, tsunami warning or disaster evacuation information to user equipment. Japan Meteorological Agency is informing earthquake early warning and tsunami warning. Local public agencies are informing disaster evacuation information. In Japan where earthquakes occur frequently, warnings with high speed and high reachability are important for this type of distribution system. Therefore, broadcast emergency system based on Earthquake and Tsunami Warning System (ETWS) is operated. It is difficult to distribute early warning to all User Equipments (UE)s in environments where some evolved Node Bs (eNB)s break down due to large-scale disasters. We focus on ProSe of Public Safety LTE technology which enables Device to Device (D2D) communication without going through core network. We propose an emergency warning system that integrates ProSe into ETWS for the realization of a disaster tolerant network system that can spread early warning out of eNB's coverage in an environment where it is difficult to distribute early warning due to the effects of large-scale disasters. By applying this system, it is possible to deliver emergency bulletins to predict secondary disasters even if the eNB stops functioning due to the disaster. We consider a multihop communication system that can spread the broadcast message using ProSe because the D2D technology seems to have high affinity with ETWS. In addition, we also propose a diffusion route optimization method utilizing ETWS distribution area configuration and geocast in broadcast message spreading. In this paper, we reproduce the environment at the time of earthquake occurrence by using the network simulator and evaluated the effectiveness of the proposed system.

Keywords: earthquake and tsunami warning system, proximity services, device to device, geocast

1. はじめに

日本の移動体通信事業者は、気象庁が配信する緊急地震速報や津波警報、地方公共団体が発信する災害・避難情報などを緊急速報として携帯移動端末に配信している。2007年当初の緊急速報は Cell Broadcast Service (CBS) [1] を利用して同報配信されていた。近年ではスマートフォンなどの普及にともない、CBS を Long Term Evolution (LTE) 規格に対応させた Public Warning System (PWS) [2] が 3GPP (3rd Generation Partnership Project) で策定され、PWS を利用した同報配信システムが運用されている。PWS はさまざまな用途に応じてサブシステム化されており、地震が多発する日本では速報性が求められているため、Earthquake and Tsunami Warning System (ETWS) [3] を採用している。

2011 年の東日本大震災では約 2 万 9000 局（東北・関東地域の基地局総数は約 13 万 7500 局）の携帯電話基地局（evolved Node B：eNB）が機能停止した [4]。スマートフォンなどの端末（User Equipment：UE）の接続性はインターネットとの中継機となっている eNB のカバレッジ（電波到達範囲）に依存している。そのため、地震などの災害によって一部の eNB が機能停止した場合、停止した eNB が収容していた端末への津波警報や、その後の災害・避難情報などの続報を配信することが不可能になる。このような状況でも有効な、災害耐性のあるネットワーク・システムの検討が重要となってきた。本論文では、停止した eNB が収容していたために電波が到達できなくなった領域をカバレッジ外と呼ぶ。

大規模災害の事例をふまえて、米国や英国では公共安全（Public Safety：PS）ネットワークの構築が進められている。PS ネットワークは、LTE を共通の基盤技術として構築することが検討されており、PS-LTE と称されている。PS-LTE は、災害発生時にもリアルタイムに情報を共有できる手段を確保することで、効率的な救命・救助活動を行うための基盤技術として期待されている [5]。PS-LTE を実現するための技術として、コアネットワークを介さずに端末間（Device to Device：D2D）での直接通信を可能とする Proximity Services (ProSe) [6] の仕様化が進められている。日本でも PS-LTE の実現に向けてワーキンググループが結成され、議論が進められている [7]。

本研究では、大規模震災の影響で津波警報や災害・避難

情報の配信が困難であるような環境において、eNB から配信された緊急速報をカバレッジ外に拡散可能なマルチホップ D2D 通信システムの実現を目的とし、ETWS に ProSe を統合した災害時同報配信システムを提案する。このシステムを適用することで、震災によって eNB が機能停止した場合も、二次災害を警告する緊急速報の配信が可能になる。そのために、以下に示す 2 つの機能を実現することが重要である。

- (1) 中継配信による同報メッセージの拡散：機能停止した eNB が収容していた端末に、D2D 通信を用いて同報メッセージを中継することで、情報が必要な利用者への配信を可能にする。現状では、端末間でのトランシーバのような動作のみが想定されており、連携して自動的にメッセージを拡散する仕組みが望まれる。
- (2) 同報メッセージの拡散における対象領域の指定：配信対象領域を行政境界に適合させることで、避難指示や避難所の指定など、詳細な情報の配信を実現可能とする。カバレッジ外に拡散させる際の対象領域を制御することで、現状の緊急速報よりも配信位置に即した詳細な情報提供の可能性が期待できる。

これらを実現するにあたり、LTE 技術を利用した D2D 通信技術は ETWS との親和性が高いと考えられるため、ProSe を用いて ETWS を拡張し、eNB 経由での通信が困難な場合においても同報メッセージを自動的に中継し、拡散可能なマルチホップ D2D 通信システムを検討する。さらに、提案システムにおける同報メッセージの中継配信時に、配信範囲を制御しながら迅速な配信を行うため、geocast [8], [9] を利用した配信範囲制御方式と ETWS 配信エリア変更方式を組み合わせた拡散経路最適化手法を検討する。

以下、2 章では、中継配信による同報メッセージの拡散および同報メッセージの拡散における対象領域の指定に関連する研究を述べ、災害時同報配信システムとして運用するための課題を考察する。3 章では、日本で運用されている同報配信システムと PS-LTE 技術として運用が期待されている D2D 通信技術について述べる。4 章では、ProSe を統合した災害時同報配信システムを提案する。5 章では、震災時の環境をネットワークシミュレータで再現し、本提案システムを適用した際の有効性を示す。6 章では、本論文のまとめと今後の課題について述べる。

2. 関連研究

中継配信による同報メッセージの拡散、同報メッセージの拡散における対象領域の指定、これら 2 つの観点から関連研究を検討し、災害時同報配信システムとして運用するための課題を考察する。

¹ 公立はこだて未来大学大学院システム情報科学研究科
Graduate School of Systems Information Science, Future University Hakodate, Hakodate, Hokkaido 041-8655, Japan

² 公立はこだて未来大学システム情報科学部
School of Systems Information Science, Future University Hakodate, Hakodate, Hokkaido 041-8655, Japan

a) g2117045@fun.ac.jp

b) y-nakamr@fun.ac.jp

c) inamura@fun.ac.jp

2.1 中継配信による同報メッセージの拡散

中継配信による同報メッセージの拡散については D2D 通信やアドホック通信を用いたいくつかの研究がある。

2.1.1 マルチホップ D2D 通信の到達性分析

Kamiyama らは、マルチホップ D2D 通信の効果を最適化させるために、マルチホップ D2D 通信成功確率を分析した結果を報告している [10]。マルチホップ D2D 通信成功確率の簡易な近似式を導出し、東京都の新宿区を想定した震災発生時の人々の避難行動をマルチエージェントシミュレーション (MAS) で再現したうえで、MAS で得られた携帯端末の位置と通信データを用いて、マルチホップ D2D 通信成功確率の分析を行っている。その結果、マルチホップ D2D 通信の疎通性とトラヒックオフロード効果を最大化させるためには、D2D 通信携帯端末の比率、最大許容ホップ長のパラメータ設定が重要であることを報告している。

2.1.2 MANET と DTN を混合させた情報共有

Nishiyama らは、情報収集や情報発信のために、Mobile Ad-hoc NETwork (MANET) と Delay Tolerant Network (DTN) を混合させたネットワークを用いたマルチホップ D2D 通信システムを提案している [11]。このシステムでは、Wi-Fi Direct による約 100m のマルチホップ D2D 通信を利用した情報転送を想定している。宛先までの経路が見つからない状況や、電池残量が一定以下の状況、あるいは加速度センサの取得データから移動が激しい端末であると判断される状況では DTN を用いた通信を行う。それ以外の宛先までの経路が見つかる状況では MANET を用いる。また、メッセージを保持した端末が MANET に合流する状況では、宛先までの経路の中で最もホップ数が少ない経路を自動的に選択する。このシステムについて仙台市街地で実機を使った実験を実施した結果、スマートフォン 27 台を経由して、総距離 2.5 km 先の端末へのメッセージの送信に成功している。

2.1.3 すれ違い通信による避難誘導システム

Fujiwara らは、各避難者に迅速かつ安全な避難経路を提示するために、DTN によるすれちがい通信を用いた避難誘導システムを提案している [12]。この避難誘導システムは、避難者同士が遭遇するときにすれちがい通信を行い、互いの持っている通行不能道路に関する情報を自動的に共有することで、避難者に対する避難所までの経路案内を行う。具体的には、DTN の蓄積・運搬・転送 (Store-carry-forward) 通信方式を採用し、Bluetooth による数メートル～数十メートルの範囲内のすれちがい通信を想定している。被災地情報共有の方法として epidemic routing を採用している。Epidemic routing とは、出会った際に互いの持っていない情報をすべて共有する手法であり、不特定多数の相手に対して情報拡散を行うことに優れている。このシステムについて、渋滞を考慮しない場合と、渋滞を考慮

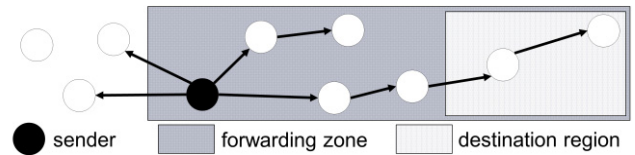


図 1 Location Based Multicast 手法を用いた geocasting

Fig. 1 Geocasting by Location Based Multicast.

した場合についてシミュレータを用いた性能評価を行っている。その結果、すれちがい通信による情報共有の効果により、平均・最大避難時間の両方が減少することを確認している。

2.2 拡散における対象領域の指定

同報メッセージの拡散において対象領域を指定するためには、地理的な条件に基づくマルチキャスト手法である geocast の活用が考えられる。

2.2.1 Directed Flooding

Flooding ベースの geocast として図 1 に示すような Location Based Multicast (LBM) があげられる [8], [9]。LBM は各端末が GPS などを利用して位置情報を所持していることが実現のための条件である。LBM にはいくつかのアルゴリズムがあり、最も基本的なアルゴリズムは static zone scheme である [13]。Static zone scheme は、destination region と forwarding zone を設定することで、destination region までメッセージを転送する方式である。Forwarding zone 内でメッセージを受信した端末は、メッセージの中継端末となりメッセージの拡散を行う。Destination region 内でメッセージを受信した端末は、メッセージの拡散と通知を行う。それ以外の領域でメッセージを受信した場合は、メッセージを破棄する。

2.2.2 No Flooding

Flooding を行わない geocast として greedy forwarding があげられる [14]。Greedy forwarding では、送信元端末の通信可能範囲に存在する端末のうち、目的地に最も近付いている中継端末にメッセージを転送し、中継端末も同様にメッセージの転送を繰り返し、目的地までメッセージを転送する方式である。この方式では、迂回するような通信が発生しないため、目的地までメッセージが到達しない可能性も考えられる。

2.3 関連研究における課題

災害時同報配信システムとして運用するために、関連研究において改善が必要と考えられる課題について述べる。

2.3.1 利用者に依存したネットワーク形成

文献 [11] や文献 [12] のシステムは、利用者が各自でアプリケーションを起動するシステム構成である。一方、ETWS における同報配信システムは利用者の操作の介在なしに自動的に動作する。配信システムの構成において利

ユーザーの操作を待つ受動的なステップを加えてしまうと、操作の遅れや操作漏れによってカバレッジの拡大を妨げる要因となってしまうため、文献 [10] のような理想的な結果にはならないと予想できる。したがって、端末側が能動的にアプリケーションを起動するような工夫が必要である。

2.3.2 行政境界への不適合

地方公共団体が配信元として災害・避難情報のような緊急速報を送信する場合、配信元とは異なる地方公共団体の行政区域に属する端末が、本来受信すべきメッセージとは異なる緊急速報を受信してしまう可能性がある。このような状況は行政境界付近で eNB が停止した場合に発生する。たとえば、図 2 のように、端末の現在位置が属する行政区域と緊急速報を配信する配信元 eNB が属する行政区域が一致していない場合である。さらに、各地方公共団体が配信するタイミングによっては、本来とは異なる緊急速報を先に受信してしまい、受信者の混乱を招く恐れがある。たとえば、避難が必要でない地域の住民にまで避難指示が配信される場合や、複数の地方公共団体からの災害・避難情報を受信し別々の避難指示を受けた場合などが考えられる。したがって、2.2.1 項で述べたような拡散性を保つことが可能である flooding ベースの geocast を活用し、行政境界を越えないような配信範囲制御を行う必要がある。

前段のように geocast を適用し配信範囲を制御した際、境界付近で中継に参加するノードが減少することにより中継経路が減少し、メッセージの到達率および到達完了時間が悪化してしまう可能性がある。行政境界を越えないように配信するためには、図 3 左のように、1 つの eNB から緊急速報を配信する必要がある。宛先までの中継端末が、互いの通信可能範囲内に含まれていれば問題は発生しない。しかし、図 3 左の端末 R が存在しなかった場合、destination



図 2 行政境界付近で発生する問題

Fig. 2 Problems occurring near administrative boundaries.

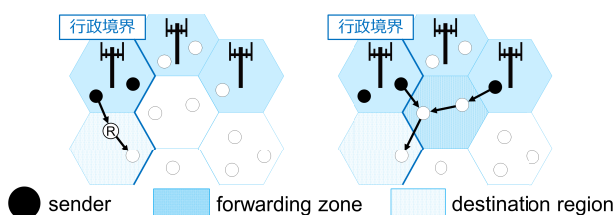


図 3 配信範囲制御による中継経路の損失

Fig. 3 Loss of relay route by the delivery scope control.

region までメッセージを中継することが不可能である。配信制御を行わないときに利用可能であった、図 3 右に示すような、行政境界を越えながら中継するような迂回路や、本来異なる地方公共団体に属する eNB から中継配信が可能であれば到達率と到達完了時間の悪化を補うことができる可能性がある。

3. 同報配信システムと D2D 通信技術

本研究で検討する災害時における同報配信システムの提案に先立ち、同報メッセージの拡散対象領域の指定の観点から、既存 ETWS の配信エリア指定方式と配信方式を 3.1.1 項および 3.1.2 項で説明する。次に、中継配信による同報メッセージの拡散を検討するために必要な既存 ETWS のチャンネル動作を 3.1.3 項で、統合を検討している ProSe の既存のチャンネル動作を 3.2.1 項および 3.2.2 項で説明する。

3.1 Earthquake and Tsunami Warning System

ETWS は従来 1 回で配信していた緊急速報を 2 回に分離して配信している。第 1 報にあたる Primary Notification は、きわめて迅速性が必要な情報を理論上実現可能な最短時間で端末に配信する。第 2 報にあたる Secondary Notification は、震度や震源地などの第 1 報を補足する詳細な情報を端末に配信する。

ETWS のネットワークアーキテクチャを図 4 に示す。気象庁や地方公共団体などの Cell Broadcast Entity (CBE)、メッセージ作成と配信エリア特定を行う Cell Broadcast Center (CBC)、eNB を収容している Mobility Management Entity (MME) を介して、eNB は収容している端末に緊急速報を 1 方向に配信する。

3.1.1 メッセージ配信エリア

メッセージ配信エリア指定方法は 3 種類あり、Cell 単位ごと、Tracking Area (TA) 単位ごと、Emergency Area (EA) 単位ごとに指定する方法がある。これらの配信エリア指定方式を図 5 に示す。Cell 単位レベルの配信エリアは Cell ID のリストからなり立っており、指定された Cell のみに配信される。TA 単位レベルの配信エリアは Tracking Area Identity (TAI) のリストからなり立っており、TAI に含まれる Cell に配信される。EA 単位レベルの配信エリアは各 Cell に EA ID を割り振り、該当する EA のみに配信される。緊急速報は EA を単位として配信指定されることが多い [15]。

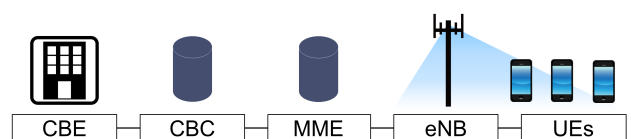


図 4 ETWS のネットワークアーキテクチャ

Fig. 4 ETWS network architecture.

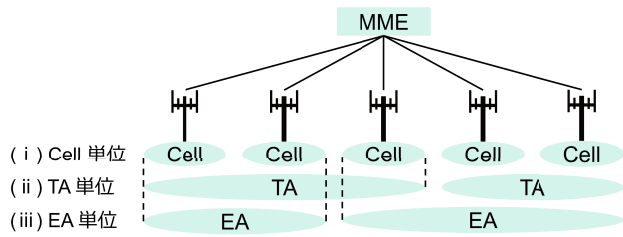


図 5 ETWS の配信エリア指定方式

Fig. 5 Distribution area designation method.

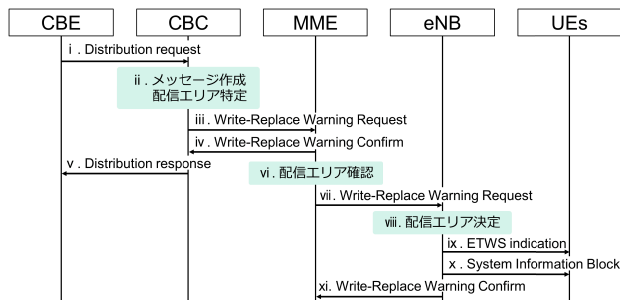


図 6 緊急速報の配信方式

Fig. 6 Early warning distribution method.

3.1.2 メッセージ配信方式

ETWS のメッセージ配信方式を図 6 に示し、端末に緊急速報が到達するまでの手順を説明する。(i~ii) CBC は CBE から配信要求を受信すると、緊急速報のメッセージ作成と配信エリア特定を自動的に行う。(iii) CBC は特定した配信エリアの MME に対して、緊急速報のメッセージ内容と配信エリア情報を載せた Write-Replace Warning Request を送信する。(iv~v) MME は応答メッセージである Write-Replace Warning Confirm を CBC に送信し、CBC は CBE に配信要求を受け付けて緊急速報配信処理の開始に関する応答を返す。(vi~vii) MME は受信した配信エリア情報を確認し、該当する eNB に Write-Replace Warning Request を送信する。(viii) 要求を受信した eNB は Write-Replace Warning Request を基に配信エリアを決定する。(ix~x) eNB はページング信号である ETWS indication を送信し、システム報知情報の System Information Block (SIB) を用いて緊急速報を送信する。Primary Notification は SIB10, Secondary Notification は SIB11 に該当する。(xi) eNB は緊急速報のブロードキャストが完了した後、MME に Write-Replace Warning Confirm を送信する [15]。

3.1.3 eNB-端末間のチャネル動作

図 6 (ix~x) における、eNB が端末へ緊急速報を配信するときのチャネル動作を図 7 に示し、詳細を説明する。eNB は Write-Replace Warning Request を受信すると、Paging Channel (PCH) を用いて ETWS indication を端末に送信する。端末は ETWS indication を受信すると、Broadcast Control Channel (BCCH) を用いて緊急速報の受信を開

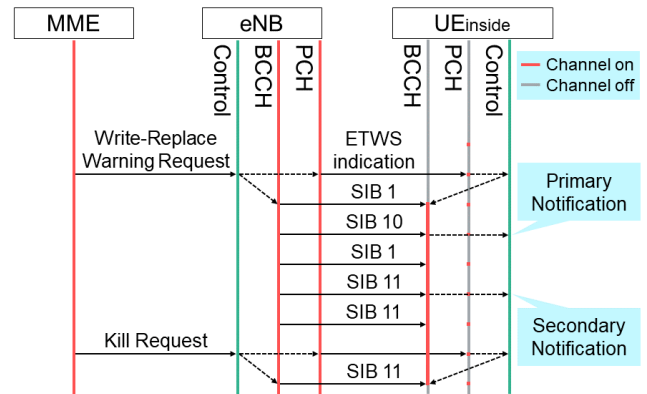


図 7 eNB と UE 間のチャネル動作

Fig. 7 Channel operation between eNB and UE.

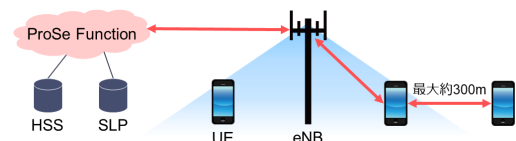


図 8 ProSe のネットワークアーキテクチャ

Fig. 8 ProSe network architecture.

始する。このとき、緊急速報である SIB10 (Primary Notification) および SIB11 (Secondary Notification) を受信するためのスケジューリング情報は、eNB が定期的に報知している SIB1 に含まれているため、SIB1 を受信した後に SIB10 および SIB11 の受信開始が可能となる。端末は SIB10 および SIB11 を確認すると、アラートとポップアップでユーザに通知する。また、重複した SIB は通知しないようになっている [15]。

3.2 Proximity Services

3GPP では LTE のアップリンク周波数帯域を用いて eNB を介さない D2D を可能とする ProSe の仕様化を行っている [6]。ProSe は近接端末とのデータ通信や音声通話などが可能となる Direct communication および、周辺の端末発見やサービス検出が可能となる Device discovery の 2 つの機能から構成されている。本研究ではメッセージ転送のため、Direct communication 機能を利用する。

3.2.1 ProSe の基本構成

ProSe のネットワークアーキテクチャを図 8 に示す。端末は EPC (Evolved Packet Core) 上の論理機能である ProSe Function を介して D2D 通信が行われ、セルサーチと同様な処理を行った後に D2D 通信が可能となる。セルサーチとは、端末が接続先として最適なセルを探索する処理を指し、端末の電源を入れたときや端末がカバレッジ外へ移動したときに行われる。セルサーチの簡易手順として、端末は eNB から送信される同期信号の PSS/SSS (Primary/Secondary Synchronization Signal) を検知し、コアネットワークの HSS (Home Subscriber Server) に端末情

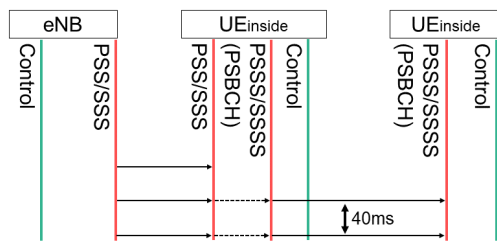


図 9 ProSe における端末間の同期方法

Fig. 9 Synchronization between UEs at ProSe.

報を登録する. このセルサーチと同様に, ProSe Function は HSS を用いて端末の認証を行い, SLP (SUPL (Secure User Plane Location) Location Platform) を用いて端末の位置に応じた適切な通信用設定の配布を行う [16]. また, 通信可能範囲は都市部では約 100 m, 見通しのいい場所では約 300 m であると想定されている [17].

3.2.2 Direct Communication

Direct communication における eNB と端末間や端末どうしの同期方法について図 9 に示す. eNB とカバレッジ内端末では, eNB が送信する同期信号 PSS/SSS と同期して D2D 通信の送受信を行う. カバレッジ内の端末とカバレッジ外の端末間やカバレッジ外の端末どうしでは, カバレッジ内外の端末が 40 ms 周期で送信する PSSS/SSSS (Primary/Secondary Sidelink Synchronization Signal) と同期して D2D 通信の送受信を行う. カバレッジ内の端末が eNB の同期タイミングに基づき PSSS/SSSS を送信することで, カバレッジ外の端末も eNB の同期タイミングと同様のタイミングで Direct communication を行うことができる. Direct communication では, PSSS/SSSS とともに PSBCH (Physical Sidelink Broadcast Control Channel) を用いて D2D 用フレーム番号やシステム帯域幅, TDD (Time Division Duplex) UL/DL サブフレーム構成などを通知する [16].

4. 提案システム

中継配信による同報メッセージ拡散の実現のために ETWS へ ProSe の統合を提案する. また, 2.3.1 項で述べたシステム運用時の課題について, 中継配信の迅速性を低下させないために, ProSe の能動化方式を提案する. さらに, geocast を利用した配信範囲制御方式と ETWS の配信エリア変更方式を検討し, 2.3.2 項で述べた行政境界付近の端末に対して, 配信範囲を制御しながら迅速性を向上させた拡散経路最適化方式を提案する.

4.1 ETWS へ ProSe の統合

ETWS に ProSe を統合させた同報配信システムの配信方式を図 10 に示し, カバレッジ外の端末 (UE_{outside}) へ緊急速報の中継配信が完了するまでの流れを説明する. 従来の ETWS と同様に, MME は Write-Replace Warning

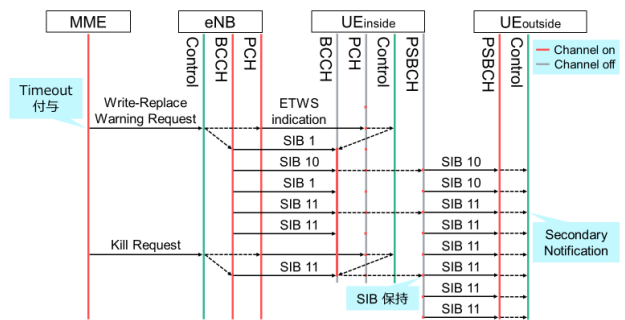


図 10 ETWS に ProSe を統合したシステムの配信方式

Fig. 10 Delivery sequence using the proposed system.

Request を配信エリアに該当する eNB へ送信する. Write-Replace Warning Request を受信した eNB は配信エリアを決定し, カバレッジ内の端末 (UE_{inside}) へ緊急速報を同報配信する. ここで, カバレッジ内の端末はカバレッジ外の端末とチャネルが確立されていれば, PSBCH を用いて緊急速報である SIB10 および SIB11 をカバレッジ外の端末へ中継配信する. したがって, カバレッジ外の端末も緊急速報を受信することが可能になる.

しかし, ETWS による緊急速報の配信は数秒程度しか行われていないため, 緊急速報の配信終了後に緊急速報を受信していない端末に遭遇しても, 緊急速報を送信することが不可能である. そのため, Kill Request によって ETWS による配信が解除された後も, 避難のための人間の移動行動に基づく DTN の epidemic routing を利用し, 緊急速報をさらに拡散させることが望ましいと考えられる. このような DTN 運用時に不要なメッセージを散在させない工夫が必要であるため, Write-Replace Warning Request が Kill Request によって解除された後, 中継端末が自律的に中継配信を停止可能なように, 緊急速報に D2D 通信用の有効期限 (Timeout 値) を加える. これにより, 価値のなくなった古いメッセージを自動的に破棄することが可能となるため, 不要な緊急速報の散在を防ぐことができる. このような形で DTN を運用することで, 緊急速報の鮮度を保つことを可能とした拡散システムが運用可能となり, eNB からのメッセージを受信できていない端末へ緊急速報の到達率向上が期待できる.

4.2 ProSe の能動化方式

4.2.1 ProSe の能動化における課題

ProSe を用いてメッセージなどの送受信を行うためには, D2D 用の同期信号である PSSS/SSSS の送受信を行う必要がある. しかし, ProSe の具体的な運用方法が決まっておらず, 2.3.1 項で述べたように緊急速報の拡散効率を低下させないために, 端末が PSSS/SSSS を能動的に送受信可能な方式の検討が必要である. 以下, 能動化方式の検討における課題を列挙する.

同期信号の送信元端末は, 適宜 PSSS/SSSS を送信する

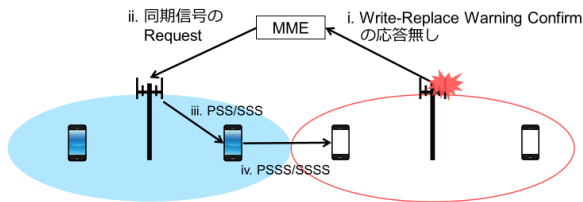


図 11 ProSe の能動化方式
Fig. 11 Activation scheme of ProSe.

ことで、D2D の中継端末の役割を果たせる。しかし、セルサーチが無事に完了しているカバレージ内の端末は、周辺の端末がセルサーチに成功しているか否かを自律的に判断できないため、PSSS/SSSS を送信するためのトリガが必要である。

一方、同期信号の受信元端末は、セルサーチと同時に PSSS/SSSS を探索することで、PSS/SSS を受信できなかった場合に D2D 通信へ切り替えることができる。しかし、この探索方法では、災害が発生していない状況で、山間部やトンネル内など、電波状況が劣悪な環境に移動した場合にも、PSSS/SSSS の探索を開始してしまい、端末の負荷が増加するため望ましくない。したがって、山間部やトンネルなどでセルラーネットワークの電波を受信できていない場合と、災害などが原因でセルラーネットワークの電波を受信できていない場合を端末が自律的に判断する必要がある。

4.2.2 ProSe の能動化方式の手順

同期信号を送信するためのトリガと手順について、図 11 を用いて説明する。eNB が緊急地震速報を配信した場合、図 6 (xi) に示すように Write-Replace Warning Confirm を MME に送信する。しかし、災害によって eNB が機能停止した場合は、図 11 (i) に示すように、Write-Replace Warning Confirm を送信することが不可能である。そのため、MME は Confirm の応答がないことをトリガとし、該当する eNB を機能停止した eNB と判断する。この情報を ProSe Function が集約し、図 11 (ii~iv) に示すように、機能停止した eNB のセルに合わせて、同期信号を送信するように端末へ Request を送信する。

同期信号を受信するためのトリガと手順について説明する。提案システムでは、緊急地震速報が配信された後の津波警報や災害・避難情報の配信を想定している。そのため、端末は緊急地震速報の受信をトリガとし、PSS/SSS だけでなく、PSSS/SSSS の受信も一定期間行うようにする。これらの同期信号送受信方式を適用することで、端末が能動的に D2D 通信へ切り替えることが可能である。

4.3 拡散経路最適化方式

Geocast を利用した配信範囲制御方式と ETWS の配信エリア変更方式を組み合わせ、不要なメッセージ拡散を抑制するための拡散経路最適化方式を提案する。4.3.1 項で

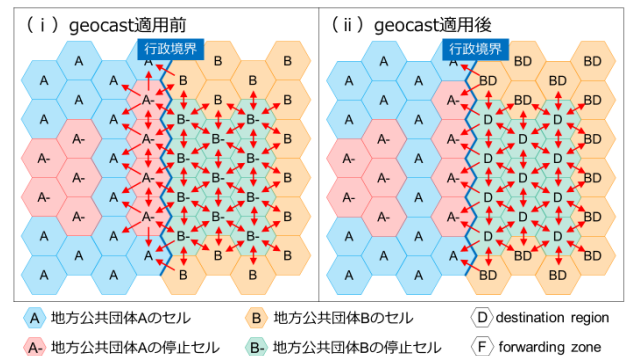


図 12 Geocast による配信範囲制御例
Fig. 12 Example of delivery scope control by geocast.

緊急速報を中継配信するために有効な geocast の領域設定方法を検討し、4.3.2 項で geocast を適用した際の到達完了速度を維持するために有効な配信エリア変更方法を検討する。4.3.3 項では、それらの実現方法を説明する。

4.3.1 Geocast を利用した配信範囲制御方式

配信が必要である領域では緊急速報をできる限り拡散し、配信が必要でない領域では緊急速報を破棄する。そこで、geocast の directed flooding 方式である static zone scheme algorithm を検討する。Geocast を ETWS に適合させる場合の動作と設定方法を述べる。Geocast を用いて緊急速報を中継する場合、無関係の端末までアラートとポップアップとでユーザーに通知してしまうことが考えられるため、以下のような動作に改良する。Forwarding zone 内でメッセージを受信した端末は、メッセージの中継端末となりメッセージの拡散のみを行う。Destination region 内でメッセージを受信した端末は、メッセージの拡散とポップアップ通知を行う。それ以外の領域でメッセージを受信した場合は、ユーザーに通知せずにメッセージを破棄する。この動作方法をもとに配信範囲を制御するため、配信元 eNB のセルと機能停止した配信元 eNB のセルを destination region に設定することで、行政境界を越えた不要なメッセージの拡散を抑制可能である。

図 12 を用いて地方公共団体 B の eNB がメッセージを配信する状況を例に geocast の設定方法を述べ、その有効性を考察する。左右を区切る青線が 2 つの行政区域の境界を表しており、制御すべき配信エリアの境界である。青色のセル A が地方公共団体 A の配信エリアに割り当てられているセルを示し、橙色のセル B が地方公共団体 B の配信エリアに割り当てられているセルを示す。赤色のセル A- は地方公共団体 A に属していた機能停止しているセルを示す。緑色のセル B- は地方公共団体 B に属していた機能停止しているセルを示す。セルの領域に geocast が適用された際は、forwarding zone をセル F、destination region をセル D と示す。赤色の矢印はセル B から配信されるメッセージの中継経路を示す。図 12 (i) は geocast 適用前の配信例を表しており、配信範囲を制御していないため、地

方公共団体 B が配信する緊急速報をセル A-に存在する端末へ拡散してしまう。一方、図 12 (ii) は geocast 適用後の配信例を表しており、地方公共団体 B のメッセージを配信する eNB のセル B と、地方公共団体 B に属していた機能停止しているセル B-を destination region に設定することで、セル A-に存在する端末への拡散を防ぐことが可能になる。

4.3.2 ETWS の配信エリア変更方式

前項のような単純な geocast を適用の際、2.3.2 項で述べたように、状況によっては緊急速報の到達率や到達完了速度が悪化する可能性がある。配信範囲を制御しない従来の手法では、行政境界付近の destination region へ全方向からメッセージが流入していたのに対し、配信範囲を制御したことにより行政境界付近の destination region へのメッセージ流入数が減少してしまい、特に機能停止範囲が広い場合には行政境界付近の端末へのメッセージ到達率および到達完了速度の悪化が予想される。このことは、図 12 (ii) において行政境界付近の destination region に向かって流れているメッセージ（赤色の矢印）が、図 12 (i) と比べて少ないことから分かる。

この問題に対し、destination region へのメッセージ流入数を減少させずに配信範囲を制御するため、4.3.1 項で述べた geocast を利用した配信範囲制御手法に対し、機能停止した eNB の位置情報に基づく ETWS の配信エリア変更方式を適用させることを検討する。配信エリア変更方式の設定方法を述べる。(1) 配信元 eNB のセルと機能停止した配信元 eNB のセルは 4.3.1 項と同様に destination region と設定する。(2) 行政境界に隣接する destination region 周囲のセルに対し、正常運転している eNB を ETWS の配信エリアおよび forwarding zone、機能停止している eNB のセルを forwarding zone と設定する。このとき、正常運転している eNB が存在しない場合は、(2) で設定した forwarding zone を中心に、(2) の設定を正常運転している eNB が存在するまで繰り返す。このような配信エリア変更方式によって、図 13 (ii) のように、機能停止している配信元 eNB の周囲を、配信可能な eNB と中継端末が囲むように設定される。

図 13 を用いて地方公共団体 B が緊急速報を配信する状況を例に配信エリア変更方式の有効性を考察する。図 13 (i) は geocast のみを適用した場合の配信例を表しており、destination region に対するメッセージ流入数が減っている状態である。図 13 (ii) は geocast 適用後に配信エリアを変更した場合の配信例を表しており、地方公共団体 A に属していた機能停止しているセル A-を forwarding zone、その周囲の正常運転している eNB のセルを配信エリアおよび forwarding zone に設定することで、地方公共団体 A への拡散を防ぎつつ、緑色のセル D へのメッセージ流入数を増加させることが可能となる。

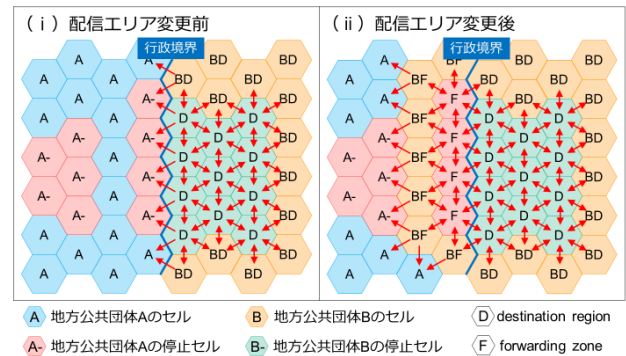


図 13 配信エリア変更方式による拡散経路最適化例

Fig. 13 Example of relay route optimization by distribution area optimization scheme.

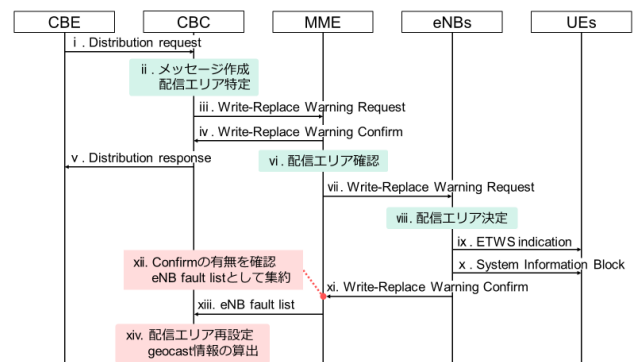


図 14 配信エリアの再設定および geocast 情報の算出手順

Fig. 14 Procedure for resetting distribution area and calculating geocast information.

4.3.3 配信範囲制御方式と配信エリア変更方式の適用方法

4.3.1 項の geocast 適用方式および 4.3.2 項の配信エリア変更方式の技術的課題を説明し、それらの適用方法を述べる。Geocast を適用する際は forwarding zone と destination region の情報を対象セルの端末へ、配信エリア変更方式を適用する際は配信エリア変更情報を変更対象エリアの eNB へ伝達する必要がある。その伝達手順を図 14 を用いて説明する。

図 14 は、図 6 に示す緊急速報の配信方式を拡張したシーケンス図であり、(xii) 以降が拡張した処理となっている。ETWS の配信エリア特定は CBC が行っているため、提案システムによるエリア変更処理も CBC で行うのが妥当である。拡張した処理として、機能停止した eNB の情報を収集するため、(xii) MME は Write-Replace Warning Confirm の有無をもとに、機能停止している eNB の位置情報を eNB fault list として集約し、(xiii) CBC へ送信する。(xiv) CBC は eNB fault list をもとに配信エリアを再設定する。その際、geocast の領域情報も算出することで、対象 eNB への geocast 情報を含めた緊急速報メッセージが生成可能になる。したがって、緊急速報を配信する際に、対象の eNB へ算出した情報をあわせて配信することで、配信範囲を制御した緊急速報が配信可能となる。

5. 評価と考察

はじめに、中継配信による同報メッセージの拡散機能についての評価を行う。メッセージが最大到達率に至るまでの到達完了時間が、D2D 通信可能範囲が長いほど短縮することを確認し、ProSe 選定の有効性を示す。次に、同報メッセージの拡散における対象領域の指定についての評価を行う。システム拡張前の既存配信方式と、geocast を用いた配信範囲制御時に配信エリア変更方式を適用した提案配信方式を比較し、提案配信方式を運用した際に到達完了時間が短縮することを確認し、配信範囲制御を可能とした迅速なメッセージ配信が実現できていることを示す。

シミュレーションシナリオとして、北海道函館市と北斗市の行政境界に津波が到達することを想定し、地震によって一部の eNB が機能停止している環境で津波警報を配信する状況を再現する。津波警報を受信した端末は徒歩で津波避難施設へ移動する行動を再現し、ProSe を統合することの有効性および拡散経路最適化方式の評価を行う。

5.1 評価モデル

ネットワークシミュレータ ns-3 [18] 上に図 15 のようなネットワークを構成し、シミュレーションを行う。ProSe は、カバレッジ内であれば eNB がオペレータとなり輻輳を制御するような動作が可能であり、カバレッジ外であれば CSMA/CA のような衝突回避方法が運用できると考えられる [5], [10]。ns-3 では ProSe プロトコルは未実装であるが、多重アクセス方式を考慮し、Wi-Fi Direct 規格を代用して評価する。これはメッセージ到達率と到達完了時間について通信可能範囲をパラメータとし、本研究で検討する各配信方式の相対評価の比較を容易にするためであり、実験が緊急速報配信以外の電波ノイズを考慮に入れていないことと、実験の規模から、輻輳の発生は考えにくいいため、評価に影響はないと考えられる。本実験におけるシミュレーションパラメータを表 1 に示す。

本実験の対象地域は、北海道の函館市と北斗市の行政境界近辺を想定し、その周辺地図を図 16 に示す。青線は行政境界を示しており、赤線は津波到達境界を示している。青線よりも西側が北斗市であり、青線よりも東側が函館市である。緑色のマークは津波避難施設を示す。eNB は図 16 右のように配置する。0 から 14 番のセルが北斗市の配信エリア、15 から 30 番のセルが函館市の配信エリアに割り当てられているとする。大規模災害により一部の eNB が機能停止していることを想定しているため、約 50% の eNB が運転している状態で実験を行う。実験の網羅性のために表 2 のような残存 eNB の配置状況を再現する。配置 A と B は、残存 eNB が函館市のみ、北斗市のみ運転している状況を再現する。配置 C～G は、行政境界付近で多数の基地局が機能停止した状況を再現させているため、ETWS の配



図 15 実験のネットワーク構成
Fig. 15 Network configuration of experiments.

表 1 システムのシミュレーションパラメータ
Table 1 Simulation parameters.

パラメータ	仮定
eNB の台数	30 機
eNB のカバレッジ	半径 250m
緊急速報のパケット長	2byte
D2D の送信間隔	160msec
端末の台数	1403 台
端末の歩行速度	5km/h
端末の歩行パターン	shortest distance to the shelter

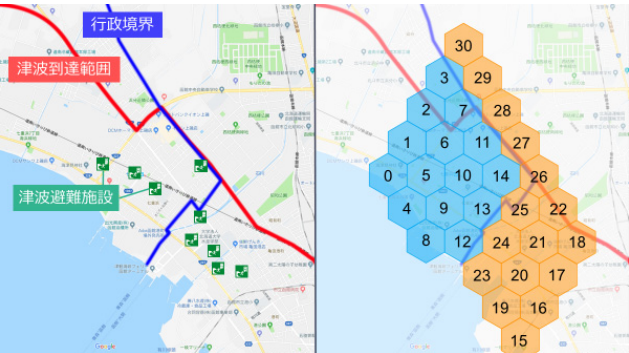


図 16 実験対象エリアと eNB 配置
Fig. 16 Experiment area map and eNB arrangement.

表 2 残存 eNB の配置パターン
Table 2 eNB operating points.

配置	残存 eNB 番号
配置 A	0,1,2,3,4,5,6,7,8,9,10,11,12,13,14
配置 B	15,16,17,18,19,20,21,22,23,24,25,26,27,28,29,30
配置 C	0,1,4,5,8,9,12,13,16,17,20,21,24,25,28,29
配置 D	2,3,6,7,10,11,14,15,18,19,22,23,26,27,30
配置 E	0,1,2,3,4,5,6,7,16,17,18,19,20,21,22,23
配置 F	0,4,8,12,15,18,19,22,23,26,27,28,29,30
配置 G	0,1,2,3,4,5,6,7,15,16,17,18,19,20,21,22,23,24,25,26,30
配置 H	0,2,4,6,8,10,12,14,16,18,20,22,24,26,28,30
配置 I	1,3,5,7,9,11,13,15,17,19,21,23,25,27,29
配置 J	0,1,2,3,8,9,10,11,16,17,18,19,24,25,26,27
配置 K	4,5,6,7,12,13,14,15,20,21,22,23,28,29,30

信エリア変更方式の効果が期待できる。配置 H～K は、疎らに停止した状況を再現する。
次に、端末の配置と移動モデルについて述べる。LTE 対応スマートフォンの普及率は 70%であり、函館市の人口密

表 3 D2D の通信可能範囲の定義
Table 3 Definition of D2D transmission range.

	都市部見通し悪	都市部見通し良	郊外
Wi-Fi	—	100 m	150 m
ProSe	170 m	250 m	350 m

度は 389 人 / km² であるため、eNB1 台あたり 68 個配置する。北斗市の人口密度は 118 人 / km² であるため、eNB1 台あたり 21 個配置する。端末の移動モデルは Google Maps API の walking モードを利用し、最寄りの避難所へ最短経路で移動する [19]。

5.2 D2D 通信規格選定の評価

本実験では、D2D 通信を行うための規格選定の観点から、D2D の通信可能範囲をパラメータとして提案システムを再現し、ProSe の有効性について評価する。

5.2.1 実験方法

気象庁が津波警報を発令することを想定し、端末へ緊急速報を配信する。各通信規格を比較するため、D2D の通信可能範囲を文献 [17] を参考に表 3 のように定義する。5 章で述べたシミュレーションシナリオをもとに、各 D2D 通信可能範囲において、到達率が最大になるまでの到達完了時間と最大ホップ数を計測する。なお、Timeout 値を 600 秒に設定し、配信開始から 600 秒経った時点で緊急速報の有効期限を超過したと見なし実験を打ち切る。同じ UE 密度に関して 3 パターン、表 2 に示した eNB 配置 11 パターン、表 3 に示した D2D 通信可能範囲に関して 5 パターンをそれぞれ組み合わせ、合計で 165 パターンの実験を行う。

5.2.2 結果と考察

到達率が最大になるまでにかかった到達完了時間と最大ホップ数の平均結果を図 17 に示し、各 D2D 通信可能範囲における平均到達率の計測結果を図 18 に示す。D2D 通信可能範囲が 100 m の場合は、到達率が 74.5%、平均到達完了時間が 377.9 秒であったことから、十分にメッセージを拡散できていないことが分かる。通信可能範囲 150 m・170 m と比較しても平均最大ホップ数が少ないまま平均到達率が向上しないことから、避難行動に従った DTN の利用が UE の通信可能範囲の小ささをカバーできていないと考えられる。次に、D2D 通信可能範囲が 150 m と 170 m の場合は、到達率が 98% から 99.1%、平均到達完了時間が 206.3 秒から 62.5 秒であったことから、ある程度メッセージを拡散できていることが分かる。また、平均最大ホップ数が最も多くなっており、避難行動と DTN を利用したメッセージ拡散が行われていたと考えられる。最後に、D2D 通信可能範囲が 250 m 以上の場合は、到達率が 100%、平均到達完了時間が 0.026 秒以下であったことから、十分にメッセージを拡散できていることが分かる。平均最大ホップ数が最も少ないにもかかわらず到達率が 100% に達している

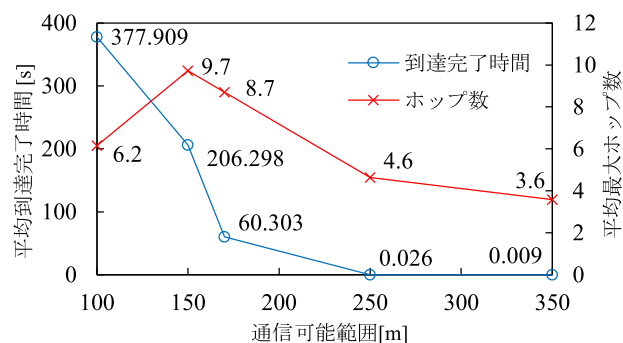


図 17 通信可能範囲に対する到達完了時間と最大ホップ数
Fig. 17 Delivery completion time and maximum number of hops for each D2D transmission range.

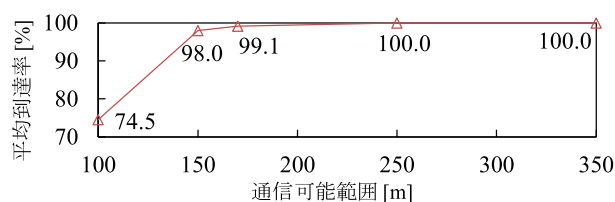


図 18 通信可能範囲に対する平均到達率
Fig. 18 Delivery rate for each D2D transmission range.

ことから、避難行動を利用しなくてもマルチホップ D2D 通信のみでメッセージを拡散できていると考えられる。これらの結果から、通信可能範囲の点で有利な ProSe は中継配信によるメッセージ拡散機能において有効であることを示せた。

5.3 行政境界付近での拡散経路最適化方式の評価

本実験では、geocast と配信エリア変更方式を適用する前から到達率の維持を基軸に考え、geocast を用いた配信範囲制御方式と ETWS の配信エリアの変更方式を同時に適用した際の有効性を評価する。

5.3.1 実験方法

地方公共団体が災害・避難情報を報知することを想定し、端末へ緊急速報を配信する。拡散経路最適化方式を評価するため、(1) システム拡張前の既存配信方式、(2) geocast のみを適用した配信方式、(3) geocast と配信エリア変更方式を適用した本提案配信方式の 3 つについて比較実験を行う。D2D 通信可能範囲を 250 m と定義し、DTN による通信は考慮しないこととする。5 章で述べたシミュレーションシナリオをもとに、各配信方式において、配信開始から 1 秒経過後までのメッセージ到達率、メッセージ超過率、到達完了時間、最大ホップ数および総送信回数を計測する。北斗市が災害・避難警報を配信した際に、北斗市に存在する端末が緊急速報を受信し、利用者へ正しくポップアップ通知を行った数の割合をメッセージ到達率と定義し、函館市に存在する端末が緊急速報を受信し、利用者へ誤ってポップアップ通知を行った数の割合をメッセージ超

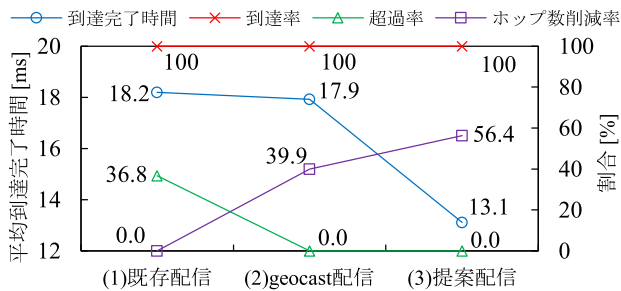


図 19 各配信方式に対する到達完了時間，到達率，超過率およびホップ数削減率

Fig. 19 Delivery completion time, delivery rate, excess rate and hop count reduction rate for each delivery scheme.

過率と定義する．従来方式ではカバレッジ外の全端末に配信されることになるため，その場合のメッセージ超過率は函館市側のカバレッジ外端末の比率に等しくなる．送信回数は中継端末によるメッセージ送信試行総数と定義する．同じ UE 密度に関して 3 パターン，表 2 に示した eNB 配置のうち配置 C から配置 K の 9 パターン，配信方式に関して 3 パターンをそれぞれ組み合わせ，合計で 81 パターンの実験を行う．eNB の配置 A は残存基地局が北斗市のみ，eNB の配置 B は残存基地局が函館市のみであり，配信範囲制御の効果が表れないため実験から除外する．

5.3.2 結果と考察

各配信方式における，到達完了時間，メッセージ到達率，メッセージ超過率，およびホップ数削減率の平均結果を図 19 に示し，提案配信方式における配信制御性能および迅速性を考察する．すべての配信方式で到達率が 100% に達し，システム拡張による到達率の低下は発生しなかったことが確認できた．既存配信方式のメッセージ超過率が 36.8% であったが，geocast 配信方式および提案配信方式で 0% へ削減可能ことが確認できた．これは，既存配信方式と geocast 配信方式を比較すると，ホップ数が短縮されていることが確認でき，メッセージが不要な領域への中継配信を抑制していると考えられ，利用者へ誤った通知をすることのない配信範囲制御が可能となっていると考えられる．次に，提案配信方式の到達完了時間は，既存配信方式よりも 28% 短縮することが確認できた．これは，配信元 eNB を増加させることで，双方向からの中継配信が行われ，ホップ数の短縮が可能となったためであると考えられる．

ETWS の配信エリア変更方式の効果を詳細に分析するため，残存 eNB の配置別に考察する．効果が大きく期待できる配置 C～配置 G，効果が少ないと考えられる配置 H～配置 K それぞれのパターンにおける，到達完了時間と最大ホップ数の平均結果を図 20 に示す．配置 C～配置 G において，到達完了時間が 29% 短縮されていることを確認した．一方，配置 H～配置 K において，到達完了時間が 3% しか

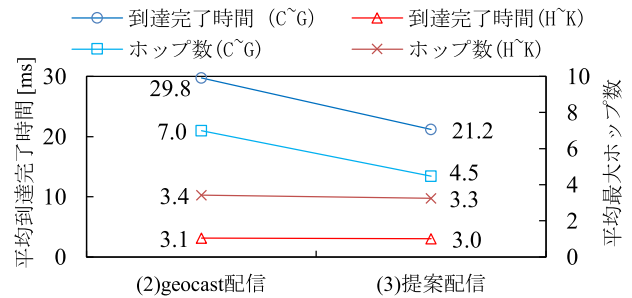


図 20 各配信方式に対する到達完了時間と最大ホップ数 (eNB 配置パターン別)

Fig. 20 Delivery completion time and number of hops for each delivery scheme (by each pattern of eNB operating points).

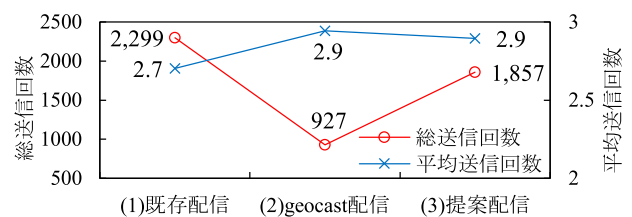


図 21 各配信方式に対する総送信回数と平均送信回数 (超過率 40%以上)

Fig. 21 Total number of transmissions and average number of transmissions for each delivery scheme (Excess rate is over 40%).

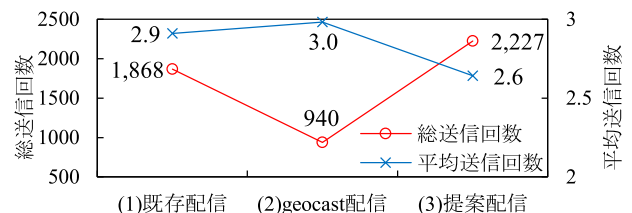


図 22 各配信方式に対する総送信回数と平均送信回数 (超過率 40%未満)

Fig. 22 Total number of transmissions and average number of transmissions for each delivery scheme (Excess rate is less than 40%).

短縮されていないことを確認した．これは，geocast 配信方式の最大ホップ数の値が関係しており，eNB が疎らに機能停止している環境では，ホップ数を短縮する状況が発生しにくいいため，到達完了時間の短縮がわずかであったと考えられる．しかし，人口密度や通信環境によっては，2.3.2 項で述べたように迂回経路の損失が考えられるため，メッセージ到達率を悪化させないためにも，ETWS の配信エリア変更方式を適用することが望ましい．

ETWS の配信エリア変更方式を適用する際に増加するメッセージ送信回数について考察する．各配信方式における，総送信回数および端末 1 台あたりの平均送信回数の平均結果を図 21 と図 22 に示す．総送信回数について，既

存配信方式におけるメッセージ超過率の値によって、2つの傾向が見られた。図 21 は、メッセージ超過率が 40%以上の環境における、総送信回数および平均送信回数を示しており、提案配信方式の総送信回数について既存配信方式と比較すると、19%削減されていることを確認した。提案配信方式の総送信回数を geocast 配信方式と比較すると、増加していることが明らかである。しかし、図 19 において到達完了時間が短縮されていることから、ETWS の配信エリア変更方式によるメッセージ流入数を増加させることで、メッセージ拡散性能が上がったと考えられる。この総送信回数が増加しているものの、各配信方式で端末 1 台あたりの送信回数が 2.7~2.9 回に抑えられており、ETWS の配信エリア変更によるメッセージ増加量は許容できるものと考えられる。

図 22 は、メッセージ超過率が 40%未満の環境における、総送信回数および平均送信回数を示しており、メッセージ超過率が 40%を超えるとときに同様に、ETWS の配信エリア変更方式によるメッセージ流入数を増加させることで、メッセージ拡散性能が向上したと考えられる。しかし、提案配信方式の総送信回数について既存配信方式と比較すると、16%増加していることを確認した。これは、ETWS の配信エリア変更方式を適用する際に、forwarding zone として設定したセルの数が、既存配信方式で不要なメッセージが拡散していたセルの数よりも増加してしまったからである。つまり、行政境界に隣接している配信元ではない地方公共団体のセルが連続的に機能停止している場合に、総送信回数を大きく削減できていると考えられる。総送信回数が増加しているが、速報性を最も重視する緊急速報の配信においては 16%の送信量増加のコストを前提としても ETWS の配信エリア変更方式を適用することが望ましいと考える。

これらの結果から、残存 eNB の状況別に、geocast による配信範囲制御方式と ETWS の配信エリア変更方式を組み合わせた拡散経路最適化方式の有効性を示した。

6. おわりに

本研究では、中継配信による同報メッセージの拡散可能な災害耐性ネットワーク・システムの実現のため、ETWS に ProSe を統合した災害時同報配信システムを提案した。D2D 通信における通信規格の選定として、ETWS との親和性が高い ProSe を採用し、配信時間が大幅に向上することから、ProSe を用いたマルチホップ D2D 通信システムの有効性を示した。また、同報メッセージの拡散における対象領域の指定方式を検討し、地理的な条件に基づくマルチキャスト手法である geocast を適用して配信範囲の制御を実現した。さらに、geocast 適用の際に懸念されていた中継経路の損失問題について、ETWS の配信エリアを残存 eNB と行政境界の位置関係によって変更する手法を考案し

組み込むことで配信速度の向上を実現した。本提案手法を用いることで、受信できていなかった端末に配信が可能になるだけでなく、現在配信されている避難指示よりも、詳細な避難指示を迅速に配信することが可能となり、より確実に安全を確保することができると考えられる。

今後の課題として、メッセージ送信回数を抑制するため、最適の中継端末選定方式を検討したい。また、消費電力の考慮や、パケット転送成功率などを考慮したシミュレーションを行い、実現性について評価したい。

謝辞 本研究は JSPS 科研費 JP17K00127 の助成を受けたものです。

参考文献

- [1] 3GPP TS 23.041 (V15.1.0): Technical realization of Cell Broadcast Service (CBS) (Release 15) (2018).
- [2] 3GPP TS 22.268 (V16.0.0): Public Warning System (PWS) requirements (Release 16) (2018).
- [3] 3GPP TS 22.168 (V9.0.0): Earthquake and Tsunami Warning System (ETWS) requirements; Stage 1 (Release 9) (2008).
- [4] 総務省：情報通信白書東日本大震災における情報通信の状況、総務省（オンライン），入手先（<http://www.soumu.go.jp/johotsusintokei/whitepaper/ja/h23/pdf/n0010000.pdf>）（参照 2018-04-25）。
- [5] 山崎智春，浦林宏行，榮祝剛洋，安達裕之，福田憲由，松本直久，藤代真人，守田空悟，童 方偉：3GPP LTE における D2D 技術の標準化概要と実用化への課題，電子情報通信学会論文誌 B，Vol.J99-B，No.10，pp.926–937 (2016)。
- [6] 3GPP TR 22.803 (V12.2.0): Feasibility study for Proximity Services (ProSe) (Release 12) (2013).
- [7] 飯塚留美：諸外国の PS-LTE の導入状況，総務省（オンライン），入手先（http://www.soumu.go.jp/main_content/000519765.pdf）（参照 2018-04-25）。
- [8] Ko, Y.-B. and Vaidya, N.H.: Geocasting in Mobile Ad Hoc Networks: Location-Based Multicast Algorithms, *Proc. WMCSA '99*, pp.101–110 (1999).
- [9] Maihofer, C.: A Survey on Geocast Routing Protocols, *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, Vol.6, No.3, pp.32–42 (2004).
- [10] Kamiyama, N. et al.: Reachability Analysis of Multi-hop D2D Communications at Disaster, *IEICE Trans. Comm.*, Vol.E101-B, No.8, pp.1833–1844 (2018).
- [11] Nishiyama, H. et al.: Relay-by-smartphone: Realizing multihop device-to-device communications, *IEEE Communications Magazine*, Vol.52, No.4, pp.56–65 (2014).
- [12] Fujiwara, A. and Miwa, H.: Real-Time Disaster Evacuation Guidance Using Opportunistic Communications, *Proc. SAINT 2012*, pp.326–331 (2012).
- [13] Ko, Y.-B. and Vaidya, N.H.: Flooding-Based Geocasting Protocols for Mobile Ad Hoc Networks, *Mobile Networks and Applications*, Vol.7, No.6, pp.471–480 (2002).
- [14] Takagi, H. and Kleinrock, L.: Optimal Transmission Ranges for Randomly Distributed Packet Radio Terminals, *IEEE Trans. Commun.*, Vol.32, No.3, pp.246–257 (1984).
- [15] Tanaka, I. et al.: Advanced Warning Message Distribution Platform for the Next-generation Mobile Communication Network, *NTT DOCOMO Technical Journal*, Vol.11, No.3, pp.20–26 (2009).
- [16] Yasukawa, S. et al.: D2D Communications in LTE-

Advanced Release 12, *NTT DOCOMO Technical Journal*, Vol.17, No.2, pp.56–64 (2015).

- [17] Qualcomm: LTE Direct Workshop White Paper (online), available from (<https://www.qualcomm.com/media/documents/files/lte-direct-whitepaper.pdf>) (accessed 2018-04-25).
- [18] ns-3 (online), available from (<https://www.nsnam.org/>) (accessed 2018-04-15).
- [19] Tiago, C. and Michele, A.: RoutesMobilityModel: easy realistic mobility simulation using external information services, *Proc. WNS '15*, pp.46–50 (2015).



六平 豊 (学生会員)

2017 年公立はこだて未来大学システム情報科学部情報アーキテクチャ学科卒業。現在、同大学大学院システム情報科学研究科博士前期課程在学中。災害時のモバイルネットワークに関する研究に従事。



中村 嘉隆 (正会員)

2007 年大阪大学大学院情報科学研究科博士後期課程修了。同年奈良先端科学技術大学院大学情報科学研究科助教。2010 年大阪大学大学院情報科学研究科特任助教。2011 年公立はこだて未来大学システム情報科学部助教。

2016 年より同大学准教授。博士 (情報科学)。情報セキュリティに関する研究に従事。電子情報通信学会, IEEE 各会員。本会シニア会員。



稲村 浩 (正会員)

1990 年慶應義塾大学大学院理工学研究科修士課程修了。同年日本電信電話株式会社入社, 1998 年より NTT ドコモ株式会社。2016 年より公立はこだて未来大学システム情報科学部教授。博士 (工学)。モバイルコンピューティ

ング・スマートデバイス向けシステムソフトウェア・モバイルネットワークに関する研究に従事。本会業績賞。電子情報通信学会, ACM, IEEE 各会員, 本会フェロー。